

**MANUAL PARA MODELAMIENTO DE EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO
USANDO UN PROGRAMA BASADO EN ELEMENTOS FINITOS**

DIANA CAROLINA FIGUEROA QUINTERO

FABIOLA SEPULVEDA VALENCIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2011**

**MANUAL PARA MODELAMIENTO DE EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO
USANDO UN PROGRAMA BASADO EN ELEMENTOS FINITOS**

DIANA CAROLINA FIGUEROA QUINTERO

FABIOLA SEPULVEDA VALENCIA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director

Ing. WILFREDO DEL TORO.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2011**

DEDICATORIA

Este gran logro es el principio de muchos más, porque hasta ahora solo es el comienzo, dedico este logro

A Dios quien me ayudó dándome fuerzas para cambiar y mejorar,

A mis padres y hermanos quienes confiaron en mí,

A mi compañero y amigo incondicional Ahmed Palomo, quien estuvo conmigo en este largo camino,

A mis hijos Sofía Palomo Sepúlveda y Cristian Manuel Palomo Sepúlveda, quienes con sus sonrisas me alegran cada día de mi vida,

A mi amiga Diana Figueroa Quintero, quien estuvo siempre en los momentos más difíciles de esta etapa,

A mi profesor Jaime Suarez, que nos colaboro con la licencia para poder llevar a cabo este proyecto,

A mis amigos y compañeros que me ayudaron a cumplir con cada etapa de esta meta.

Muchas gracias a todos.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios y a mi ángel de la guarda por acompañarme, fortalecerme y permitirme llegar satisfactoriamente a esta meta.

A mis padres, que gracias a sus consejos y paciencia, apoyaron constantemente mis esfuerzos sin dejarme desistir.

A mis hermanas Mónica y Sandra, que me motivaron a seguir a pesar de las dificultades.

A mis sobrinitos Nathalia, Daniel, Hannah y J. Sebastián porque fueron la más dulce inspiración.

A Giovanni porque tuvo fe en mí y paciencia hasta el final.

A mi querido profesor Wilfredo del Toro, quien me acompañó en todo este proyecto y orientó de la manera más profesional, sin dejar a un lado su buen humor y entereza.

A mis tan apreciados amigos, que por su incondicional apoyo y desinteresada amistad, me acompañaron con los mejores consejos todos estos años, en especial a Fabiola, Héctor, Sergio, Liliana, Oscar G, Juan Carlos, Silvia y todos los demás, ustedes saben quienes son.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. OBJETIVOS	17
1.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
2. FUNDAMENTO TEORICO	18
2.1. TIPO DE EXCAVACIONES	18
2.1.1. Excavaciones Libres	18
2.1.2. Excavaciones con Taludes.	18
2.1.3. Excavaciones Con Entibados.	18
2.1.4. Excavaciones con Muros	19
2.1.5. Excavaciones con Tablestacas.	20
2.1.6.1. Clases de anclajes	21
2.1.6.1.1. Anclajes provisionales	21
2.1.6.1.2. Anclajes Permanentes	21
2.1.6.1.3. Anclajes Pasivos	21
2.1.6.1.4. Anclajes activos	21
2.1.6.1.5. Anclajes Mixtos	21
2.2. NORMAS APLICABLES A LAS EXCAVACIONES	25
2.2.1. Norma geotécnica de la CDMB	25
2.2.2. Norma NSR – 10	26
2.3. TEORÍA DE ELEMENTOS FINITOS	27
2.3.1. Componentes de una malla de elementos finitos.	27
2.3.2. Modelo de elementos finitos	28

2.4. PROCEDIMIENTOS DE ENTRADA	29
2.4.1. Entrada de Objetos de la Geometría	29
2.4.2. Entrada del Texto y los Valores.	30
2.5.1. Menu Principal.	30
2.5.2. Barra de Herramientas (General).	30
2.5.3. Barra de Herramientas Geometria.	30
2.6. GEOMETRIA	31
2.6.1. Iconos para Simular Elementos Estructurales	31
2.6.1.1. Placas	31
2.6.1.2. Geomallas	31
2.6.1.3. Interfaces	32
2.6.1.4. Anclaje de nodo a nodo	32
2.6.1.5. Anclaje con un extremo fijo	32
2.7. CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO	32
2.7.1. Limitaciones en los Desplazamientos (Standard Fixities)	33
2.7.2. Prescripción de desplazamientos	33
2.7.3. Cargas repartidas	33
2.7.4. Cargas puntuales	33
2.7.5. Fijaciones de rotación	34
2.7.6. Drenes	34
2.7.8. Conjunto de Entrada de los Materiales	34
2.7.9. Modelamiento del Comportamiento del Suelo	34
2.7.9.1. Modelos utilizados por el programa para el modelamiento del suelo	34
2.7.9.2. Parámetros utilizados dentro del programa para el modelamiento del suelo	35
2.7.10. Propiedades de los Elementos Estructurales	36
2.8. GENERACION DE LA MALLA	36
2.9. CONDICIONES INICIALES	37
2.9.1. Condiciones Iniciales Referentes al Flujo	37
2.9.1.1. Nivel freático	37

2.9.2. Condiciones de Contorno Referentes al Flujo	38
2.9.3. Contorno impermeable	38
2.9.3.1. Contorno impermeable en análisis de consolidación	38
3. CALCULOS	39
3.1. AJUSTE DE LOS DATOS INICIALES EFECTUADO ENTRE CÁLCULOS	39
4. RESULTADOS (OUTPUT)	41
4.1. RESULTADOS GENERADOS DURANTE LOS CALCULOS	41
4.1.1. Resultados de elementos estructurales e interfaces	41
4.2. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS	41
4.2.1. Gráficas	42
4.2.2. . Tablas de resultados.	47
4.2.3. Curvas	47
5. CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFIA	49
ANEXO	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejemplo de cargas que afectan una excavación.	18
Figura 2. (a Tablestaca con malecón o pantalla libre.(b. Tablestaca de corte apuntalado	20
Figura 3. Tablestaca con anclaje	21
Figura 4. Empuje que actúa sobre la pared vertical de la excavación libre	22
Figura 5. Diagrama de fuerzas actuantes en una excavación que falla por corte	23
Figura 6. Puntos tensión en los triángulos de 6 y de 15 nodos respectivamente.	28
Figura 7. Elementos triangulares de 6 y 15 nodos respectivamente.	28
Figura 8. Ejemplo de un problema de deformación plana y de uno axisimétrico.	29
Figura 9. Introducción de datos (input)	30
Figura 10. Gráficas de Desplazamientos Totales.	42
Figura 11. Gráfica de Desplazamientos Horizontales.	43
Figura 12. Gráfica de Desplazamientos Verticales.	43
Figura 13. Gráfica Fuerza Axial de Placa Vertical	44
Figura 14. Gráfica Desplazamientos totales de Placa Horizontal.	44
Figura 15. Malla deformada	45
Figura 16. Desplazamientos totales	45
Figura 17. Desplazamientos Horizontales	46
Figura 18. Desplazamientos Verticales	46
Figura 19. Curva correspondiente al factor de seguridad ejercicio 2	47

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 (Explicación detallada del manual del programa).	50
ANEXO 2 (Ejercicios propuestos).	51
ANEXO 3 (Licencia del programas).	52

RESUMEN

Titulo. MANUAL PARA MODELAMIENTO DE EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO USANDO UN PROGRAMA BASADO EN ELEMENTOS FINITOS*

**Autores: DIANA CAROLINA FIGUEROA QUINTERO
FABIOLA SEPULVEDA VALENCIA****

Palabras claves: Excavaciones, Modelamiento, Programa.

Descripción:

La siguiente investigación consiste en el estudio del comportamiento de los suelos, cuando en ellos se lleva a cabo excavaciones a cielo abierto, como es el caso de las que se realizan en el área urbana, utilizando una herramienta computacional y proporcionando un manual guía para modelar los diferentes procesos para lo cual fue necesario conocer el programa y familiarizarse con los diferentes datos de entrada, que se necesitan para obtener resultados confiables, los cuales nos indicaran cual es la mejor opción para llevar a cabo la excavación. Luego, se hicieron simulaciones de los diferentes tipos de excavaciones que se pueden presentar al realizarse una obra civil, en donde se deben emplear excavaciones a cielo abierto, las cuales son nuestro tema de interés.

Además se brinda un marco teórico con el que se quiere ayudar al estudiante a aclarar dudas acerca de los diferentes sistemas de contención que pueden ser usados para las diferentes excavaciones. Por último, se realizó un manual guía, donde se explica la utilización del programa, buscando despertar el interés por el manejo de programas, que están en el mercado y son de gran ayuda para el modelamiento de las diferentes situaciones que se pueden presentar, mostrando que hoy en día la tecnología establece mejores rendimientos a la hora de realizar modelos geotécnicos, teniendo en cuenta que se debe tener una buena caracterización de los datos de entrada. Es importante señalar que la utilización de la herramienta para la generación de los modelos, nunca se utilizó con fines de tipo económico y que solo su aplicación se realizó estrictamente con fines académicos. Consientes que esta investigación servirá al estudiante de ingeniería civil, en la utilización de una herramienta que le ayude para la modelación de excavaciones a cielo abierto.

* Trabajo de Grado

** Facultad Físico mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Ing. Wilfredo Del Toro.

ABSTRACT

Title. MANUAL FOR MODEL OF OPEN EXCAVATION USING A PROGRAM BASED ON FINITE ELEMENTS *

Authors: FIGUEROA DIANA CAROLINA QUINTERO
SEPULVEDA FABIOLA VALENCIA **

Keywords: Excavations, Modeling, Program.

Description:

The following investigation is about the ground behavior when open sky excavations are doing on, like the ones are doing on urban area, by using computational tools and offer a guide manual to model the process; for that was necessary to know about the program and the different datas enter, which are necessary to get truly results and show the better option to get the excavation done. Later simulations of the different excavations tipys that can happen on civil work where open sky excavation should be done, were doing, there are our interesting topic. Beside theoretical setting is offer, trying to hept the student to clear misunderstood about the different stability system that can using for the differents excavations. Finally a guide manual was done, explaining the program use, and looking catch the attention for the program using, which are on the market, and help shaping the different situation what can bee present. Show that todaydays the geotechnical model settle better result is those are dang by using technology counting with a good data enter characterization. Is important to point that the model generation was never use for economic pourpose, instate the use were academic aim. This investigation will server to engineering civil student to use the open sky excavation shaping tool.

* Degree Work

** Physical Faculty mechanical, School of Civil Engineering, Director Mr. Wilfredo Del Toro.

INTRODUCCION

Dentro de las diferentes obras de ingeniería civil es necesario llevar a cabo excavaciones, las cuales deben cumplir con los factores de seguridad exigidos por las diferentes Normas que aplican, en este caso la Norma NSR-10 (titulo H), o la Norma Geotécnica de la CDMB (Corporación de la Defensa de Bucaramanga) entre otras, por la gran importancia que esta etapa puede representar dentro de un proyecto, es de sumo cuidado desarrollarla con la mayor seguridad posible, para lo cual se ha buscado la manera de adquirir conocimientos acerca de las herramientas que puedan ser útiles para los análisis de las excavaciones.

Con la exigencia que hay en la actualidad, es necesario estar a la vanguardia de los avances tecnológicos, los cuales nos ayudan a simplificar cálculos en el momento de analizar una situación que se lleve a cabo en la realidad, es por eso que se ha prestado gran interés en estudiar a fondo un programa que actualmente está siendo muy utilizado, para el modelamiento de excavaciones.

Antes de que una excavación se lleve a cabo es necesario realizar una serie de análisis, para que en la fase de diseño puedan preverse accidentes. En el siguiente trabajo se presentará un bosquejo de la manera de utilizar un programa que se basa en elementos finitos, para hacer estos análisis.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un manual como material de apoyo en la utilización de una herramienta computacional, basada en elementos finitos, para la modelación de excavaciones a cielo abierto.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Brindar un marco conceptual y práctico, que abarque los conocimientos necesarios para la modelación de la excavación a cielo abierto con la herramienta computacional.
- Recopilar la información básica, acerca de los parámetros utilizados para los diferentes procesos de excavación a cielo abierto.
- Presentar un manual que sirva como herramienta de apoyo, para los usuarios que necesiten trabajar modelación de excavación en 2D y/o 3D, acercándolos más a la realidad del problema.
- Explicar paso a paso la entrada de datos (unidades, geometría), para obtener exactitud en los resultados.
- Presentar ejemplos con los cuales, se les facilite a los usuarios el uso de la modelación para excavaciones a cielo abierto.

2. FUNDAMENTO TEORICO

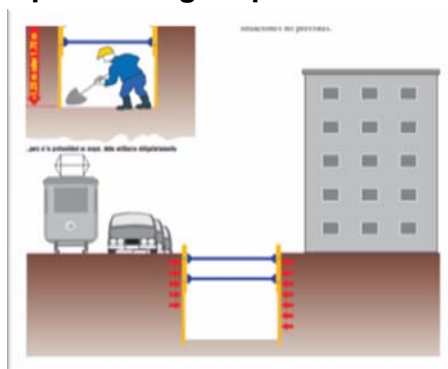
2.1. TIPO DE EXCAVACIONES

2.1.1. Excavaciones Libres. Excavaciones libres son aquellas que se hacen sin necesidad de ningún tipo de estructura de estabilización, para eso se deben hacer una serie de chequeos antes de llevarla a cabo, el primero de ellos es calcular la profundidad crítica a la cual se puede hacer la excavación sin necesidad de ningún tipo de estructura para la estabilización de la misma, estos chequeos se trataran con mayor detalle más adelante en estabilidad de excavaciones.

2.1.2. Excavaciones con Taludes. Las excavaciones o cortes temporales, se pueden construir sin ningún sostenimiento, con un talud en las paredes que sea compatible con la estabilidad de los suelos durante el tiempo de utilización

2.1.3. Excavaciones Con Entibados. Cuando se llevan a cabo excavaciones de poca anchura, es aconsejable utilizar los entibados como estructura de estabilización, para evitar los posibles derrumbes que se puedan presentar, debido al poco espacio disponible para la construcción de otras estructuras de estabilización. Las excavaciones con entibados son las más usadas cuando se requiere cambiar tuberías, las cuales son excavaciones de poca profundidad y poco ancho, además de ser excavaciones que por lo general quedan rodeadas de calles y edificaciones.

Figura 1. Ejemplo de cargas que afectan una excavación.



La legislación es muy clara al decir que toda excavación que no esté provista de un talud natural, debe estar entibada siempre y cuando se vea como la mejor opción.

Terzaghi y Peck han tomado como excavaciones de poca profundidad, aquellas que no superan los 6 mts, para lo cual se aconseja la utilización de entibados en esta clase de excavación.

Proceso de construcción de entibados

Hay varias clases de entibados, una de ellas que es la más sencilla y para excavaciones no tan profundas, es la de parales y puntales, otra forma de entibación es con planchas metálicas y codales, ésta se puede usar en excavaciones más profundas.

Para nuestro caso las modelaciones que se van a realizar por este programa son de parales y puntales.

Se colocan los parales hincándolos y luego los puntales a medida que la excavación progresa, por lo que la deformación del terreno está más restringida en la parte superior con la colocación de los puntales.

Puntales

Para los puntales se recomienda que como mínimo tengan una separación de por lo menos tres metros; estos son columnas horizontales sometidas a flexión, la cual se reduce proporcionando soportes verticales y horizontales, en puntos intermedios. Para entibación también se suelen usar tablestacas.

2.1.4. Excavaciones con Muros. Cuando se desea estabilizar una excavación de gran profundidad una opción muy acertada puede ser la estabilización con muros, dentro de los cuales están:

- Muro pre excavado.
- Muro pantalla.
- Muro Anclado.

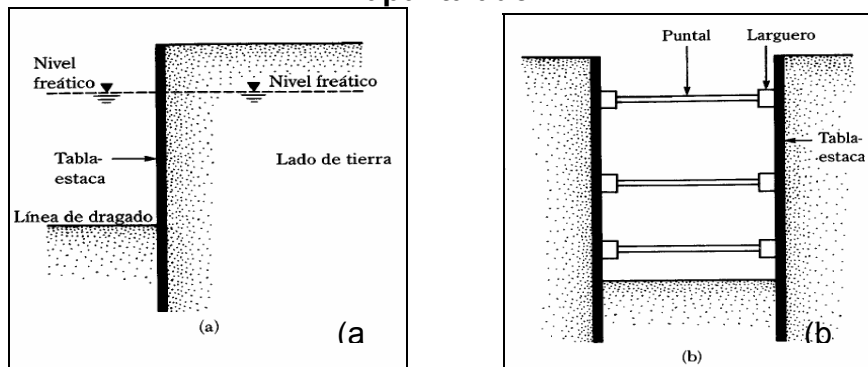
La estabilización con muros es muy segura pero de gran costo, son usados en excavaciones para cimentaciones, cuando dentro de los análisis hechos con anterioridad, se puede predecir que la excavación puede presentar falla de fondo.

2.1.5. Excavaciones con Tablestacas. Cuando se requieren excavaciones temporales, es aconsejable utilizar tablestacas de madera para la estabilidad de la misma, la definición más exacta de tablestaca es pilote de madera o tablón que se hinca en el suelo y puede ser usada para entibar excavaciones.

Las tablestacas pueden ser en cemento, acero, PVC o madera, siendo una muy buena opción las tablestacas de PVC por su bajo peso y su alto grado de defensa contra la corrosión y ataques biológicos.

Tablestacas según la forma como están armadas

Figura 2. (a) Tablestaca con malecón o pantalla libre. (b) Tablestaca de corte apuntalado



Tablestaca pantalla libre

Estas tablestacas conforman un empotramiento con el suelo, en donde la estabilidad depende principalmente de la profundidad a la que se encuentra la tablestaca.

Tablestaca pantalla anclada

Este tipo de tablestaca utiliza tensores cuando el empotramiento no es suficiente para estabilizar la tablestaca, debido a que ésta puede sufrir una deformación, en donde es necesario colocar un tensor para evitar esta deformación.

Figura 3. Tablestaca con anclaje



2.1.6. ANCLAJES

Los anclajes son cables de acero que permiten garantizar la estabilidad a diversas estructuras, pueden usarse de manera ventajosa sobre la masa de suelo para soportar un determinado estado de esfuerzos o tensiones.

2.1.6.1. Clases de anclajes. Los anclajes según el tiempo de servicio pueden ser:

2.1.6.1.1. Anclajes provisionales: Son aquellos que son utilizados para dar estabilidad al terreno de manera provisional, mientras se coloca la estructura que va a permanecer en el lugar.

2.1.6.1.2. Anclajes Permanentes: Son los utilizados de manera definitiva dentro de la obra de estabilización.

2.1.6.1.3. Anclajes Pasivos: Son aquellos que no son pretensados después de su instalación

2.1.6.1.4. Anclajes activos: Después de instalados se hace un pretensado, comprimiendo el terreno comprendido, entre la zona de anclaje y la placa de apoyo de la cabeza.

2.1.6.1.5. Anclajes Mixtos: Se conocen como anclajes mixtos a aquellos anclajes que no se pretensan con la carga admisible, sino con una carga menor, buscando dejar una reserva de la resistencia para posibles movimientos aleatorios.

CHEQUEOS PARA LA ESTABILIDAD DE EXCAVACIONES

Para analizar la estabilidad en excavaciones, se tienen que hacer una serie de chequeos para poder llevarla a cabo y de esta manera disminuir riesgos de posibles accidentes.

- **Cálculo de la profundidad crítica**

Al hacer una excavación a cielo abierto se debe calcular una altura crítica, que es la profundidad a la cual se puede excavar sin necesidad de contención.

La altura crítica se producirá cuando el empuje activo sea igual a cero ($p_a=0$)

$$p_a = \frac{1}{2} \gamma * Z^2 * \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) - 2cZ * \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$Z_{crit} = \frac{4c}{\gamma} * \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad o \quad Z_{crit} = \frac{4c}{\gamma} * \frac{\sqrt{k_a}}{k_a}$$

En arcillas saturadas.

$$Z_{crit} = \frac{4c}{\gamma}$$

Z_{crit} , profundidad máxima a la que se puede excavar sin contención.

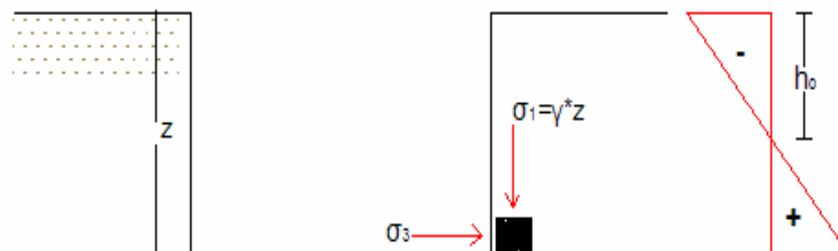
K_a , coeficiente de presión activa

Φ , Angulo de fricción del estrato de suelo.

γ , peso específico del suelo.

Después de esta profundidad crítica, es necesario utilizar estructuras de contención, como las que se mencionaron en los numerales anteriores.

Figura 4. Empuje que actúa sobre la pared vertical de la excavación libre



- **Análisis de fallas que se pueden presentar en una excavación.**

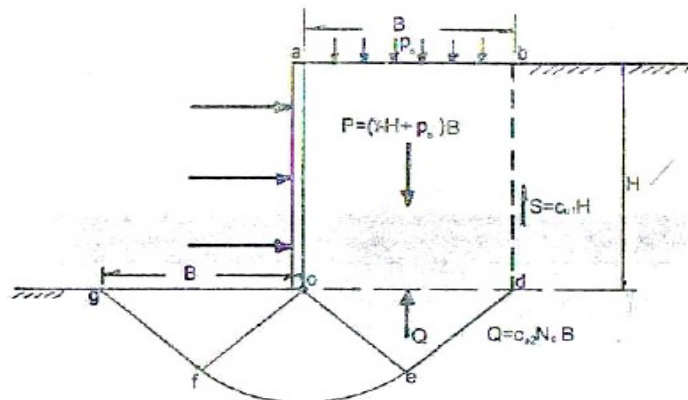
En la estabilidad de excavaciones se debe analizar la posibilidad de falla de fondo, la cual se pueden presentar de tres maneras: por capacidad de carga o corte en el fondo de la excavación, por expansión debido a liberación de esfuerzos de suelo y por subpresión, teniendo la presencia del agua en el fondo de la excavación bajo condiciones de presión.

- **Falla por Corte.**

La Falla de Fondo por Esfuerzos Cortantes, se presenta en arcillas blandas y saturadas, manifestándose como un levantamiento brusco del fondo, provocado por el desalojo del material y simultáneamente con el hundimiento repentino de la superficie del terreno alrededor a la excavación, lo que podría ocasionar el colapso de las paredes de la excavación o del sistema de soporte lateral, si este existiera. Una excavación libre con talud vertical o con contención mediante entibación, es susceptible de sufrir este tipo de falla.

En excavaciones profundas, es común el uso de concreto colado (Muro Milán) o de tablestacas de acero y madera, cuyo extremo inferior se empotra hasta alguna profundidad bajo el nivel del fondo de la excavación, antes de iniciar los trabajos de extracción de tierra, con el fin de dar seguridad contra este tipo de falla.

Figura 5. Diagrama de fuerzas actuantes en una excavación que falla por corte



- **Falla de fondo por Expansión (Bufamiento)**

Se puede presentar en todo tipo de suelo, pasando inadvertida en los suelos no plásticos, sin embargo en zonas cuyos suelos corresponden a arcillas blandas, altamente compresibles y expansibles, el fenómeno se advierte a simple vista; por lo general, es evidente en el comportamiento de cimentaciones compensadas, al observarse asentamientos causados por la recuperación de las expansiones

generadas durante el proceso de excavación y colado del cajón de cimentación en aquel caso.

El Factor de seguridad contra la Falla de Fondo o Bufamiento, depende de algunas variables como: profundidad, ancho, longitud de excavación, sobrecarga, distancia del fondo de excavación al estrato resistente, resistencia de los suelos adyacentes y bajo el nivel de excavación.

Considerando las características de un proyecto, para la condición de excavación total, se debe determinar un factor de seguridad contra la Falla de Fondo o Bufamiento del orden de 1,6.

Por otra parte, las excavaciones que se realizan para sótanos traen consigo la subpresión completa de las presiones verticales, como consecuencia, el fondo de la excavación se levanta, es decir, asciende.

- **Falla de fondo por Subpresión**

Causada por las fuerzas de infiltración, que podrían producir levantamiento del fondo de la excavación y perder empuje pasivo en el empotramiento de los sistemas de retención.

Para descartar este tipo de falla, es indispensable el abatimiento del nivel freático controlando la diferencia de presiones. Es importante también realizar una observación de la presión hidráulica en el caso de la presencia de estratos permeables y semipermeables, cercanos a la capa del fondo de la excavación, dando así una mayor seguridad al fondo de la excavación ante la Falla por Subpresión.

Después de tener claro el tipo de falla que se presenta en el momento de llevar a cabo la excavación, se escoge la opción de contención más apropiada, según el tipo de falla.

En caso de presentarse falla por corte, se recomienda hacer la estabilización por muros, si es falla de fondo por expansión es aconsejable la tablestaca y si es por subpresión se debe sacar el agua que se presente dentro de la excavación, por medio de bombas y luego hacer la estabilización necesaria.

2.2. NORMAS APLICABLES A LAS EXCAVACIONES

2.2.1. Norma geotécnica de la CDMB

a) Para el análisis de estabilidad debe suponerse como mínimo un factor de carga sísmica horizontal de 0.15g.¹ En excavaciones de sótanos se recomienda que en todos los proyectos donde se realicen excavaciones verticales o de alta pendiente para la construcción de sótanos u otro tipo de obras, se requiere construir obras para garantizar la estabilidad de los taludes, producto de las excavaciones, de acuerdo a los siguientes criterios mínimos² Se debe realizar un estudio geotécnico y un estudio de estabilidad de laderas, de acuerdo a los requerimientos de las presentes normas técnicas. El estudio de estabilidad de las excavaciones se exige para toda excavación de más de 3 metros de profundidad.

- Previamente a la iniciación de la excavación se debe redactar y firmar un acta de estado de los lotes y/o las construcciones vecinas, conjuntamente con el propietario o propietarios de esas edificaciones o lotes.

- Se debe garantizar un factor de seguridad durante la construcción de la excavación superior a 1.5, para condiciones estáticas de acuerdo al estudio de estabilidad de laderas, en todos los casos en los cuales existan construcciones en la corona de las excavaciones y de 1.2 cuando no existan construcciones.

- Se debe presentar un plan de construcción para el manejo de la excavación, en el cual se garantice, su estabilidad durante todas las etapas del proceso constructivo.

- Se deben diseñar y construir obras, para garantizar la estabilidad de las excavaciones (factor de seguridad superior a 1.5), utilizando criterios de ingeniería internacionalmente aceptados y de acuerdo a las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio. Estas obras pueden incluir pantallas ancladas, caissons de soporte lateral de excavaciones, tablestacados, muros construidos utilizando contención con lodo bentonítico, etc.

¹ Norma geotécnica de la CDMB numeral 4.2.3

² Norma geotécnica de la CDMB numeral 7.12

- En todos los casos se debe estudiar la estabilización de los taludes con un factor de seguridad de 1.5 para condiciones estáticas y de 1.2 para una aceleración sísmica de 0.15g.

2.2.2. Norma NSR – 10

Factores de Seguridad

Los factores de seguridad pueden ser directos o indirectos.

a) Factores de seguridad directos

Definición: En la Ingeniería Civil en general, el Factor de Seguridad FS se define entre fuerzas resistentes F_R y actuantes F_A y también pueden usarse esfuerzos para evaluar el Estado Límite de Falla³

La selección de los factores de seguridad, debe justificarse plenamente teniendo en cuenta:

- La magnitud de la obra.
- Las consecuencias de una posible falla en la edificación o sus cimentaciones.
- La calidad de la información disponible en materia de suelos.

En ningún caso el factor de seguridad debe ser inferior a 1.00.

b) Factores de seguridad indirectos

Son factores que se aplican a la estabilidad de taludes de corte vertical o inclinado. Los valores de los factores de seguridad indirectos se encuentran en la Tabla 4.7.1. de la NSR – 10.

Consideraciones generales de las excavaciones

Las excavaciones podrán delimitarse, con taludes perimetrales, cuya pendiente se evaluará según los análisis de estabilidad que exige la Norma NSR – 10, numeral 8.2.1.

Si existen restricciones de espacio y no son aceptables taludes verticales debido a las características del subsuelo, se recurrirá a un sistema de soporte constituido

³ numeral H.2.4.1 NSR – 10

por entibados, tablestacas o muros fundidos en el lugar apuntalados o retenidos con anclajes instalados en suelos firmes.

2.3. TEORÍA DE ELEMENTOS FINITOS

El método de elementos finitos considera la estructura como un medio continuo el cual es discretizado. El comportamiento de toda la estructura, es obtenida por la formulación de un sistema algebraico de ecuaciones, que puede ser solucionado por medio de un computador. Los elementos de tamaño finito, son llamados elementos finitos. Los puntos donde los elementos finitos son interconectados, son conocidos como nodos y el procedimiento de selección de nodos es llamado discretización o modelización.

2.3.1. Componentes de una malla de elementos finitos. En una malla de elementos finitos se tienen tres tipos de componentes:

- **Elementos**

Durante la generación de la malla, los grupos son divididos en elementos triangulares, estos elementos pueden ser conformados por 15 o 6 nodos según la selección del usuario, es recomendable usar elementos de 15 nodos para mayor precisión en los resultados.

Como regla, se prefieren los elementos cuadriláteros a los triangulares, por razones de isotropía geométrica. Sin embargo, se sugiere el uso de elementos triangulares cuando se presentan irregularidades en la geometría del elemento a modelar.

- **Nodos**

Puntos donde los elementos son interconectados.

- **Puntos de Tensión**

Son puntos independientes de los nodos, es donde se calculan las tensiones. En los elementos de 15 nodos hay 12 puntos de tensión, mientras que en los de 6 nodos hay 3 puntos de tensión.

Figura 6. Puntos tensión en los triángulos de 6 y de 15 nodos respectivamente.

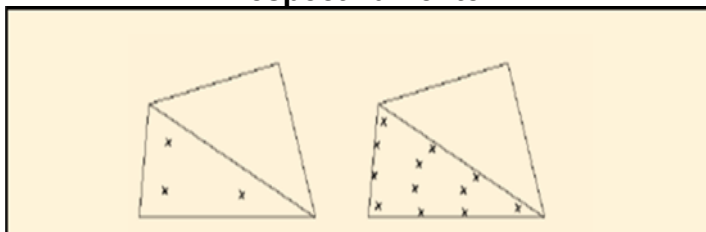
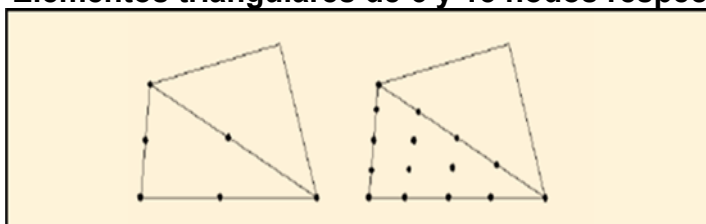


Figura 7. Elementos triangulares de 6 y 15 nodos respectivamente.



2.3.2. Modelo de elementos finitos. El programa tiene dos opciones de modelos para el análisis de elementos finitos según la geometría del modelo, la selección de Plane Strain o de Axisymmetric, esto da como resultado un modelo de elementos finitos en dos dimensiones, con solo dos grados de libertad de desplazamiento por nodo (dirección X e Y).

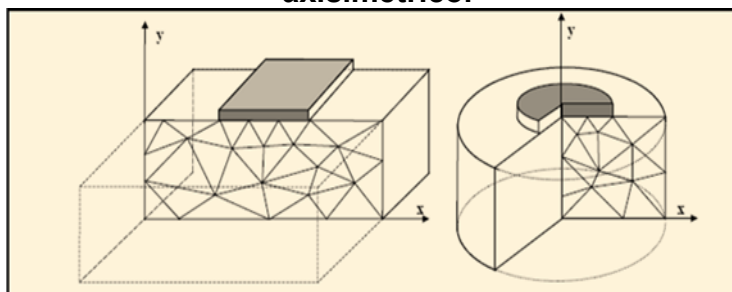
- **Plane Strain (Deformaciones Planas)**

Se utiliza un modelo de Deformación plana (Plane strain), en el caso de geometrías con una sección transversal (más o menos) uniforme, para las que pueda suponerse que los correspondientes estados tensionales y de cargas son uniformes a lo largo de una determinada longitud perpendicular a la sección transversal (dirección z).

- **Axisymmetric**

Se utiliza un modelo axisimétrico (Axisymmetric) en estructuras circulares, con una sección transversal radial (más o menos) uniforme y un esquema de carga alrededor del eje central, que permita suponer estados tenso-deformacionales idénticos en cualquier dirección radial.

Figura 8. Ejemplo de un problema de deformación plana y de uno axisimétrico.



ASPECTOS GENERALES DEL PROGRAMA

Este programa hace una representación en 2D de una situación real en tres dimensiones, para lo cual se toma como base un modelo geométrico, el cual debe incluir los estratos del suelo, condiciones iniciales, estructuras de estabilización (si son necesarias) y condiciones de frontera. Dentro de este modelo geométrico deben ser definidas las propiedades de los estratos de suelo, como los de las estructuras que dentro de él se encuentran dibujadas.

Después de que el modelo geométrico es creado, se procede a generar la malla de elementos finitos, por medio de la cual el programa lleva a cabo el análisis del comportamiento del suelo.

Se prosigue a definir las fases de construcción y después de este paso el programa inicia el proceso de cálculos.

2.4. PROCEDIMIENTOS DE ENTRADA

2.4.1. Entrada de Objetos de la Geometría. La creación de un modelo geométrico está basada, en la entrada de puntos y líneas. Esto se hace mediante un indicador, que está sobre el área de dibujo. Varios objetos de la geometría están disponibles en el menú o en la barra de herramientas. La entrada de la mayor parte de objetos de la geometría, se basa en un procedimiento de dibujo lineal.

2.4.2. Entrada del Texto y los Valores. En la aplicación de este programa, ciertas entradas de texto y de valores son exigidas y otras como tal las asume el programa. **Muchos parámetros tienen los valores implícitos.**

2.5. CREACION DEL MODELO GEOMETRICO

2.5.1. Menu Principal. El programa cuenta con un menú principal, el cual presenta las diferentes opciones (File, Edit, View, Geometry, Loads, Materials, Mesh, Initial, Help) que se pueden seleccionar para la introducción del modelo dentro del programa. (Este submenú es explicado con más detalle en el anexo 1.)

Este modelo es dibujado en un área de dibujo con líneas y puntos.

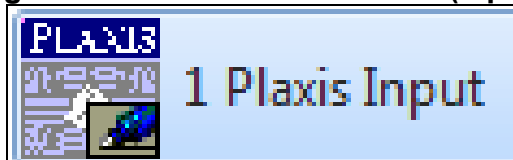
2.5.2. Barra de Herramientas (General). Esta barra de herramientas consta de iconos para acciones generales, que son: guardar o grabar la información en el disco, imprimir, ampliar y seleccionar objetos. También consta de iconos utilizados para ejecutar otros pasos del programa (Cálculos, Datos de salida o resultados y Curvas). (Se explica con más detalle en el anexo 1.)

2.5.3. Barra de Herramientas Geometria. En esta barra de herramientas se encuentran los iconos que son utilizados para simular las diferentes situaciones reales dentro del modelo geométrico, (líneas, articulaciones nodo a nodo, limitaciones en los desplazamientos, cargas puntuales y distribuidas, material sett, geomallas, placas, interfaces, etc). Mayor información en anexo 1.

INTRODUCCION DE DATOS (INPUT)

El programa contiene dispositivos necesarios para crear y modificar un modelo, los cuales pueden ser introducidos al hacer clic en el icono que aparece a continuación.

Figura 9. Introducción de datos (input)



Al pulsar este icono se despliegan una serie de ventanas, las cuales se van completando según el parámetro que se necesite introducir. En estas ventanas de entrada, se definen las diferentes propiedades de los estratos de suelo y objetos estructurales utilizados para la estabilización (en caso de usarse). (Mayor información anexo 1)

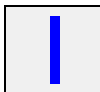
2.6. GEOMETRIA

Para la generación de un modelo de elementos finitos es necesario que el modelo geométrico este creado por completo.

Un modelo geométrico está constituido por puntos y líneas. Se puede añadir al modelo geométrico elementos estructurales o condiciones especiales para simular muros, placas, la interacción suelo-estructura o cargas.

2.6.1. Iconos para Simular Elementos Estructurales

2.6.1.1. Placas



Icono de placas (plate)

Se utiliza cuando es necesario introducir una tablestaca, muros pantallas o entibados dentro del modelo, la placa debe ser definida con sus propiedades dentro del modelo. (Creación e introducción de las propiedades de la placa, anexo 1).

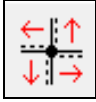
2.6.1.2. Geomallas



Icono de Geomallas (Geogrid)

Las Geomallas son elementos esbeltos que soportan fuerzas de tracción y ninguna de compresión, son utilizadas para modelar el micropilote del anclaje, ya que simula la interacción de suelo – mortero. (Creación e introducción de las propiedades anexo 1)

2.6.1.3. Interfaces

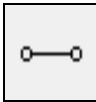


Icono Interfaces (Interface)

Son utilizadas para indicar en qué lado de la línea geométrica tiene lugar la interacción con el suelo.

Las interfaces pueden ser colocadas a ambos lados de una línea geométrica. Esto permite una interacción completa entre objetos estructurales (muros, placas, geomallas, etc.) y el suelo a su alrededor. (Creación e introducción de las propiedades anexo 1).

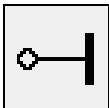
2.6.1.4. Anclaje de nodo a nodo



Icono Anclajes de nodo a nodo (node – to – node – anchor)

Son elementos elásticos, utilizados con el fin de modelizar conexiones entre dos puntos, los extremos de los anclajes nodo a nodo, deben estar siempre conectados a líneas geométricas. (Creación e introducción de las propiedades anexo 1)

2.6.1.5. Anclaje con un extremo fijo



Icono de Anclaje con un extremo fijo (Fixed end anchor)

Son elementos elásticos, utilizados para modelizar puntales o soportes para muros tablestacas. (Creación e introducción de las propiedades anexo 1).

2.7. CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de fronteras son aquellas condiciones que como su nombre lo indica, se encuentran delimitando las fronteras del modelo geométrico.

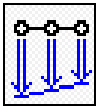
2.7.1. Limitaciones en los Desplazamientos (Standard Fixities)



Icono (Standard Fixities)

Son introducidas en el modelo geométrico, para simular fijeza completa en la base y en las caras verticales ($U_x=0$; $U_y=libre$), estas fijaciones son utilizadas como una introducción rápida y cómoda en muchas aplicaciones. Ver anexo 1.

2.7.2. Prescripción de desplazamientos



Icono de prescripción de desplazamientos (Prescribed displacements)

Las prescripciones de desplazamientos son utilizadas, cuando dentro del modelo geométrico se desea introducir un desplazamiento. (Pasos para hacer prescripción de desplazamientos dentro del modelo geométrico, anexo 1).

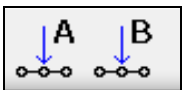
2.7.3. Cargas repartidas



Icono Cargas Distribuidas (Distributed load)

En algunos casos se encuentran aplicadas cargas distribuidas alrededor de la zona que se está analizando, para lo cual es necesario introducir esas cargas y esto se logra utilizando el icono anterior. (Pasos para introducción de cargas distribuidas dentro del modelo geométrico, anexo 1).

2.7.4. Cargas puntuales



Icono de Cargas Puntuales (Point Loads)

Este icono permite la introducción de cargas puntuales dentro del modelo geométrico. (Pasos para introducción de cargas puntuales dentro del modelo geométrico. Anexo 1).

2.7.5. Fijaciones de rotación



Icono de Fijaciones rotacionales (Rotation Fixity)

Es utilizado para restringir la rotación de una placa alrededor del eje z. (Pasos para introducir fijaciones rotacionales, anexo 1).

2.7.6. Drenes



Drenes (Drain)

Los drenes son utilizados para imponer un valor nulo a las presiones intersticiales a lo largo de algunas líneas del modelo. (Creación e introducción de drenes, anexo 1).

2.7.8. Conjunto de Entrada de los Materiales

2.7.9. Modelamiento del Comportamiento del Suelo

Para el modelamiento del comportamiento del suelo, es conveniente conocer sus propiedades y parámetros, los cuales deben ser asignados a la geometría. En el programa las propiedades del suelo, son reunidas en el conjunto de entrada de los materiales, si se ingresan propiedades distintas a las existentes, estas no quedaran guardada en el programa. (Pasos para introducir parámetros, anexo 1).

2.7.9.1. Modelos utilizados por el programa para el modelamiento del suelo

- 1. Modelo de elasticidad (Lineal elastic):** Este modelo representa la ley de Hooke de elasticidad lineal isótropa. El modelo incluye dos parámetros de rigidez elástica, el módulo de Young (E) y el coeficiente de Poisson (ν). El modelo elástico lineal tiene muchas limitaciones en relación a la simulación del comportamiento de los suelos. Se utiliza fundamentalmente para capas rígidas de suelo.
- 2. Modelo de Mohr – Coulomb:** se utiliza como una aproximación cercana al comportamiento del suelo en general. El modelo incluye cinco parámetros, el

módulo de Young (E), el coeficiente de Poisson (ν), la cohesión (c), el ángulo de fricción (ϕ) y el ángulo de dilatación (ψ).

3. Modelo para suelo blando (Soft soil model): es utilizado para simular el comportamiento de suelos blandos, como arcillas normalmente consolidadas y turbas. El modelo proporciona buenos resultados en las situaciones de compresión primaria.

4. Modelo del suelo con endurecimiento isotrópico (Hardening-Soil model): se trata de una variante elastoplástica del modelo hiperbólico, formulado en el marco de la plasticidad de endurecimiento por fricción. El modelo incluye el endurecimiento por compresión para simular la compactación irreversible del suelo bajo una compresión primaria. Este modelo de segundo orden puede ser utilizado para simular el comportamiento de arenas y gravas, así como de tipos de suelo más blandos, como arcillas y sedimentos.

5. Modelo para suelo blando con fluencia (Soft soil creep model): es un modelo de segundo orden formulado en el marco de la viscoplasticidad. El modelo puede ser utilizado para simular el comportamiento dependiente del tiempo de suelos blandos, tales como arcillas normalmente consolidadas y turbas. El modelo incluye una ley logarítmica para la variación de rigidez con el cambio de volumen.

6. Modelo para roca fracturada (Jointed rock model): Se trata de un modelo elástico-plástico anisótropo en que la rotura por acción de las tensiones tangenciales sólo puede producirse en un número limitado de direcciones de deslizamiento. Este modelo puede ser utilizado para simular el comportamiento de roca estratificada o fracturada.

NOTA: En esta investigación sobre la aplicación de este programa a excavaciones a cielo abierto, se utiliza específicamente los modelos: Modelo de Mohr – Coulomb y Modelo de elasticidad.

2.7.9.2. Parámetros utilizados dentro del programa para el modelamiento del suelo

1. E_{ref} (módulo de Young): El programa utiliza el módulo de Young como módulo de rigidez básico en el modelo elástico y en el modelo de Mohr-Coulomb, un

módulo de rigidez tiene las dimensiones de una tensión (fuerza por unidad de superficie). Algunos materiales tienen un comportamiento no lineal desde el mismo comienzo de la carga.

2. ν (nu), (módulo de poisson): El valor del coeficiente de poisson se puede obtener de un ensayo triaxial, cuyos valores están dentro del intervalo (0.3-0.4).

3. C_{ref} (cohesion): Este valor es dado en el estudio de suelos. El programa puede tratar las arenas sin cohesión, pero no se aconseja, porque se pueden producir errores en los cálculos, para lo cual se le hace la observación al usuario de que introduzca valores pequeños, estos pueden ser ($C \leq 0.2$), de esta manera el programa lleva a cabo los cálculos sin errores.

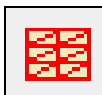
4. ϕ (phi), ángulo de fricción: Estos valores son dados por el estudio de suelos.

5. ψ (psi), ángulo de dilatancia: El ángulo de dilatancia, ψ (psi), se especifica en grados. Aparte de las capas fuertemente sobreconsolidadas, los suelos arcillosos tienden a no presentar ninguna dilatancia en absoluto (es decir, $\psi = 0$), grados.

2.7.10. Propiedades de los Elementos Estructurales

Se debe ingresar los parámetros de los elementos estructurales que se hayan introducido en el modelo geométrico, para después ser definidos dentro del mismo. (Pasos para introducir parámetros, anexo 1).

2.8. GENERACION DE LA MALLA



Icono Generación de Mallas (Generate mesh)

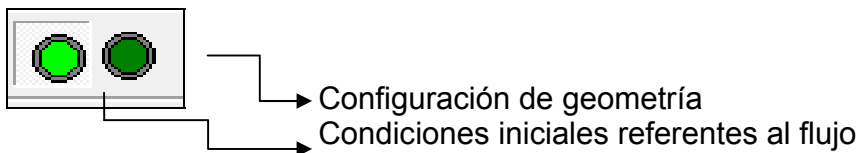
Después de que el modelo geométrico ha sido completado, se prosigue a la generación de la malla de elementos finitos, la cual es generada automáticamente al hacer clic en el icono (Generate mesh). [Ver anexo 1.](#)

2.9. CONDICIONES INICIALES

Para llevar a cabo la modelización del comportamiento del modelo introducido, debe asignarse en él, las condiciones iniciales a las que está sometido el modelo para acercarse más al comportamiento real del suelo.

Esta ventana cuenta con un módulo que se divide en dos partes:

- Submódulo para la generación de las presiones iniciales del agua (módulo de condiciones iniciales referentes al flujo).
- Submódulo para la especificación de la configuración inicial de la geometría y la generación del campo de tensiones efectivas iniciales (módulo de configuración de la geometría).



2.9.1. Condiciones Iniciales Referentes al Flujo

Las presiones intersticiales estacionarias y las presiones externas de agua (presiones de agua), son generadas dentro del módulo de las condiciones iniciales referentes al flujo.

2.9.1.1. Nivel freático



Icono de Nivel freático (Phreatic level)

Las presiones de agua pueden generarse a partir de la fijación del nivel freático.

Cuando en el estudio de suelos se detecta el nivel freático, este es introducido en el modelo geométrico, de lo contrario el programa asume el nivel freático en la base del modelo. (Pasos para introducción del nivel freático, Anexo 1).

2.9.2. Condiciones de Contorno Referentes al Flujo

2.9.3. Contorno impermeable



Icono Contorno impermeable (Closed flow boundary)

Este icono es utilizado para introducir un contorno impermeable en el modelo geométrico. (Pasos para introducir contorno impermeable. Anexo 1).

2.9.3.1. Contorno impermeable en análisis de consolidación



Closed consolidation boundary

Dentro de las condiciones iniciales de impermeabilidad, es aconsejable utilizar el contorno según el análisis que se esté haciendo.

Después de ser introducidos los contornos de frontera con respecto al flujo, deben generarse las presiones de agua dentro del modelo y las tensiones iniciales. (Pasos para generación de presiones de agua y tensiones iniciales. Anexo 1).

3. CALCULOS

Dentro de los cálculos se deben definir las fases de construcción, las cuales permiten desarrollar paso a paso la excavación y la activación de las cargas y elementos estructurales.

En cada fase se pueden activar y desactivar los diferentes objetos, dependiendo del papel que juegan en cada etapa. Después de ser realizados los cálculos, el programa muestra cada fase de construcción, en una ventana en donde se puede determinar que fase o fases fallaron.

Adicional a estas fases se debe crear otra fase alterna con el fin de conocer el factor de seguridad y verificar que sea mayor al establecido por norma. (Pasos para definir las fases de construcción y Cálculo del factor de seguridad. Anexo 1).

Después de que las fases de construcción han sido definidas, se deben seleccionar algunos puntos, para la generación de curvas de carga-desplazamiento y para la generación de curvas de esfuerzos y de deformaciones.



Icono Select nodes for load-displacement curves



Icono Select points for curves

Estos dos iconos permiten la selección de los puntos dentro del modelo, después de esta selección se proceden a hacer los cálculos.

3.1. AJUSTE DE LOS DATOS INICIALES EFECTUADO ENTRE CÁLCULOS

Cuando se hace una modificación de la geometría, es decir cambio de coordenadas, de puntos o líneas, automáticamente el programa elimina toda información acerca de las fases de construcción que se hayan llevado a cabo dentro del modelo, por tal razón las fases de construcción deben ser hechas de

nuevo, después de cualquier cambio en la geometría, igualmente sucede con las mallas y condiciones iniciales deben ser generadas nuevamente.

4. RESULTADOS (OUTPUT)



Icono output

Pulsando este icono se puede ver y elaborar la lista de resultados correspondientes a la situación inicial y a cada fase de cálculo.

4.1. RESULTADOS GENERADOS DURANTE LOS CALCULOS

Dentro de los resultados que el programa presenta se encuentran:

Curva Carga-desplazamiento, esfuerzos, deformaciones, malla deformada, desplazamientos totales, desplazamientos incrementales, deformaciones totales, deformaciones cartesianas, deformaciones incrementales, incremento de deformaciones cartesianas, tensiones, tensiones efectivas, tensiones totales, tensiones efectivas cartesianas, tensiones totales cartesianas. Todos estos resultados se encuentran dentro del programa Output. (Pasos a seguir para ver los diferentes resultados del análisis. Anexo 1).

Para cada fase de cálculo se presenta todos los resultados nombrados anteriormente.

4.1.1. Resultados de elementos estructurales e interfaces. Los resultados de desplazamientos y esfuerzos de estos elementos estructurales se obtienen, seleccionando la fase deseada y haciendo clic sobre icono Output ubicado en la barra de herramientas, inmediatamente sale una ventana, en la cual aparece el gestor de ficheros, lo cual permite al usuario navegar por todos los directorios disponibles y seleccionar el fichero de proyecto actual.

Los resultados de desplazamientos, esfuerzos y tensiones de las estructuras (es decir, placas, geomallas, anclajes) y las interfaces pueden ser obtenidos seleccionando cada uno de estos elementos.

4.2. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS

El programa presenta los resultados del comportamiento del suelo por medio de gráficas o por medio de tablas, en donde aparecen los diferentes valores que toma cada punto, dependiendo de la opción escogida. Ver Anexo1.

4.2.1. Gráficas. Los resultados son representados en las gráficas.

A continuación se presentaran algunos resultados representados en graficas de los ejercicios 1 y 2 del ANEXO 2.

Gráficas de resultados del ejercicio 1 (Excavaciones estabilizadas con entibación, utilizando dos puntales). Este ejercicio es explicado en el Anexo 2.

Figura 3. Gráficas de Desplazamientos Totales.

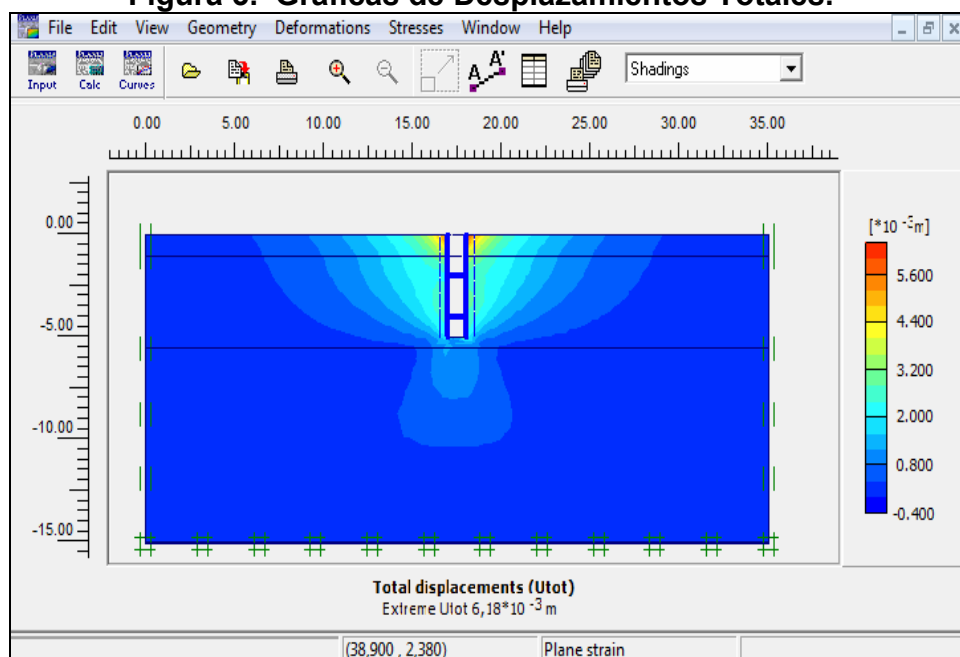


Figura 4. Gráfica de Desplazamientos Horizontales.

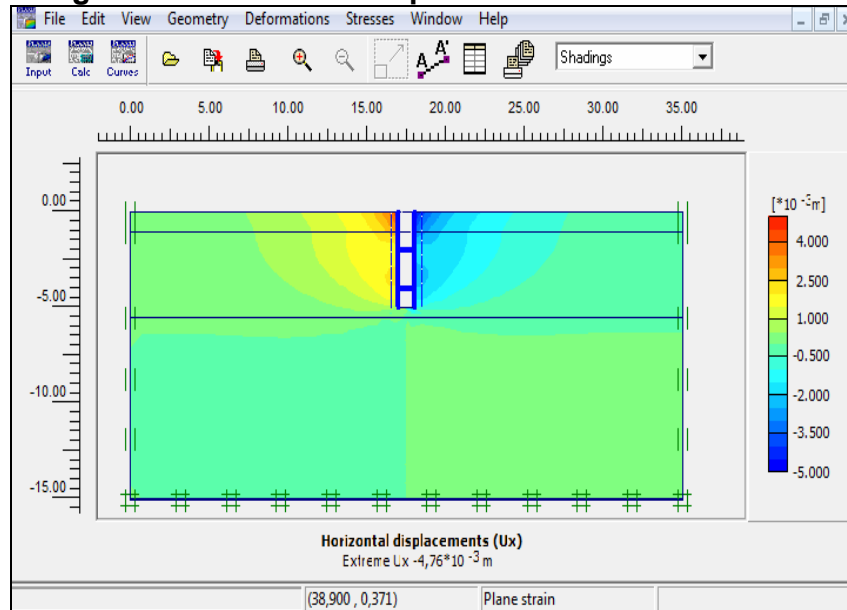


Figura 5. Gráfica de Desplazamientos Verticales.

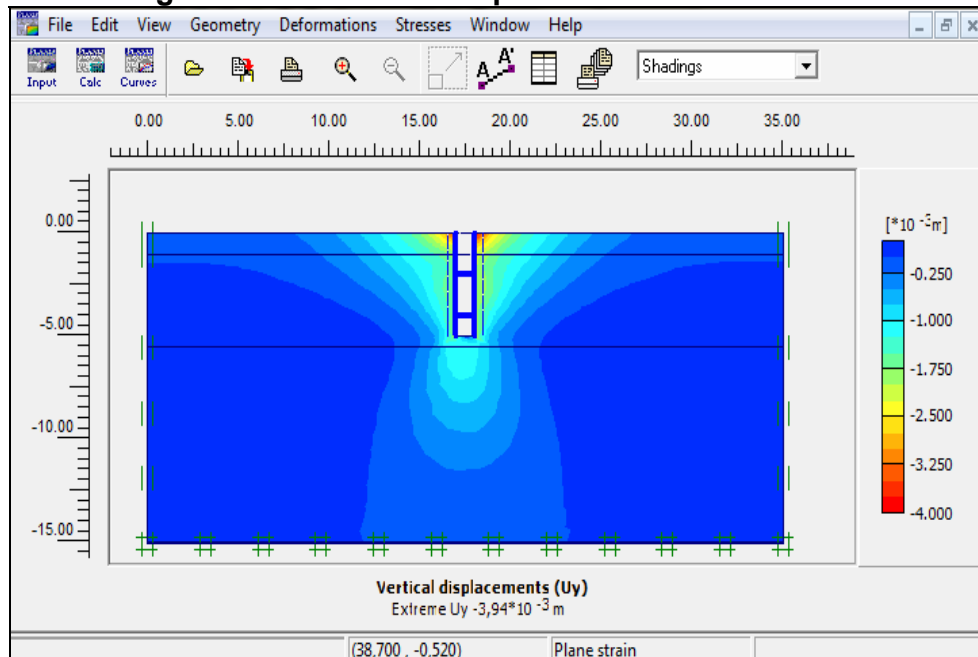


Figura 6. Gráfica Fuerza Axial de Placa Vertical

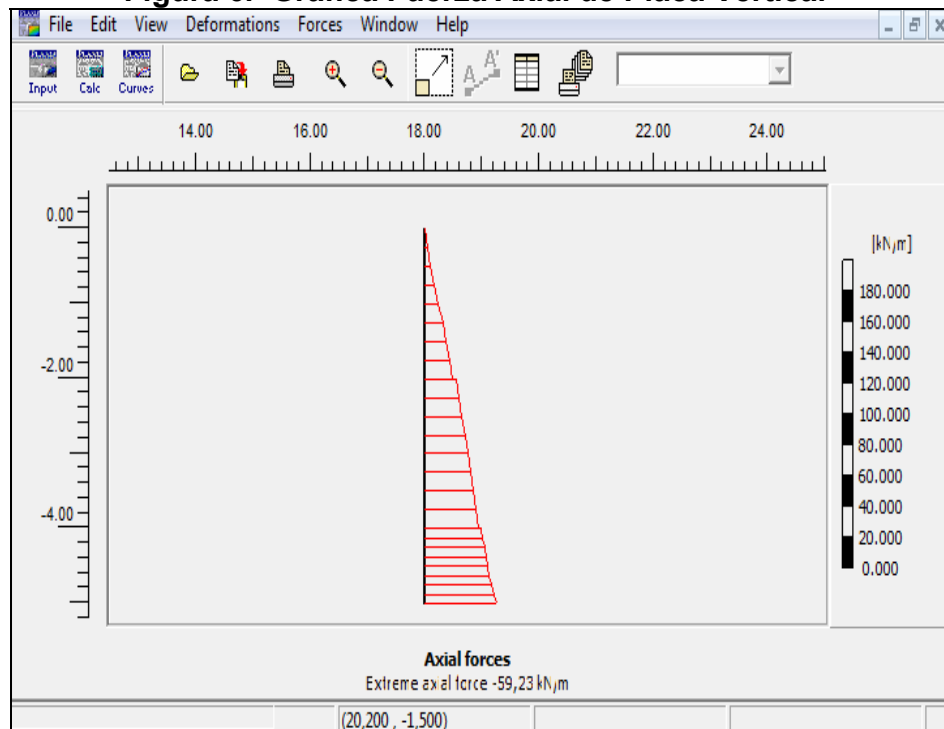
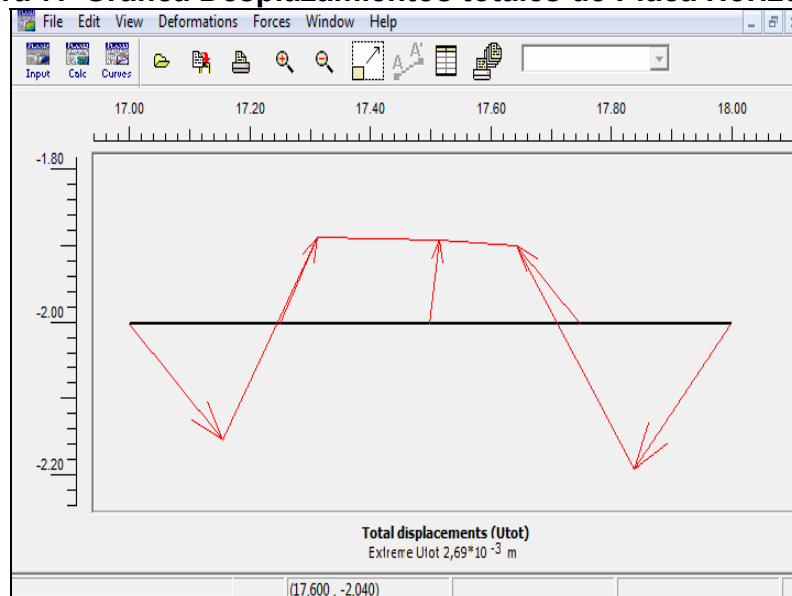


Figura 7. Gráfica Desplazamientos totales de Placa Horizontal.



Estas son algunas de las gráficas de resultados del ejercicio (Excavaciones estabilizadas con entibación, utilizando dos puntales). Anexo 2.

Gráficas de Resultados del ejercicio 2 (Excavación Libre). Este ejercicio es explicado en el Anexo 2.

Figura 8. Malla deformada

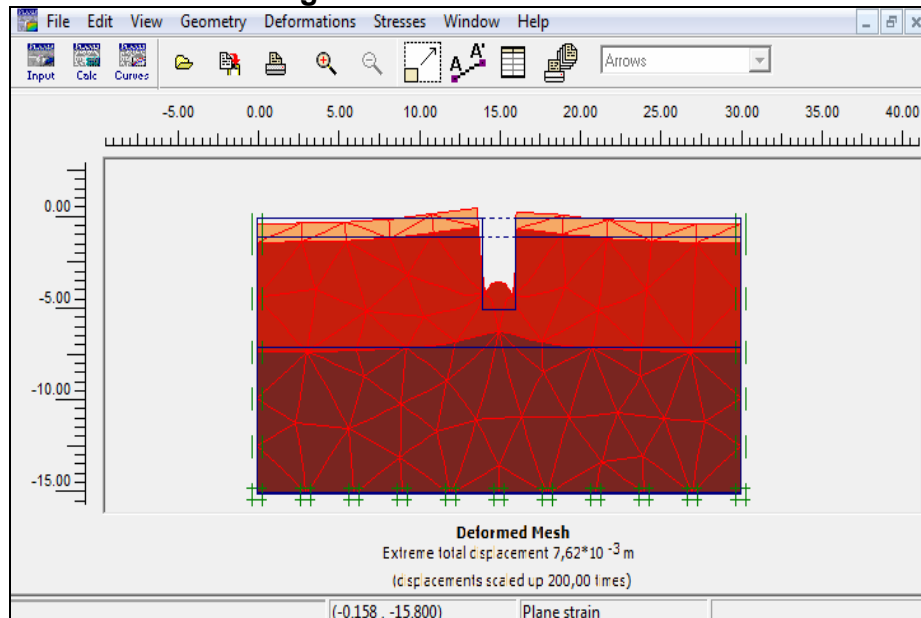


Figura 9. Desplazamientos totales

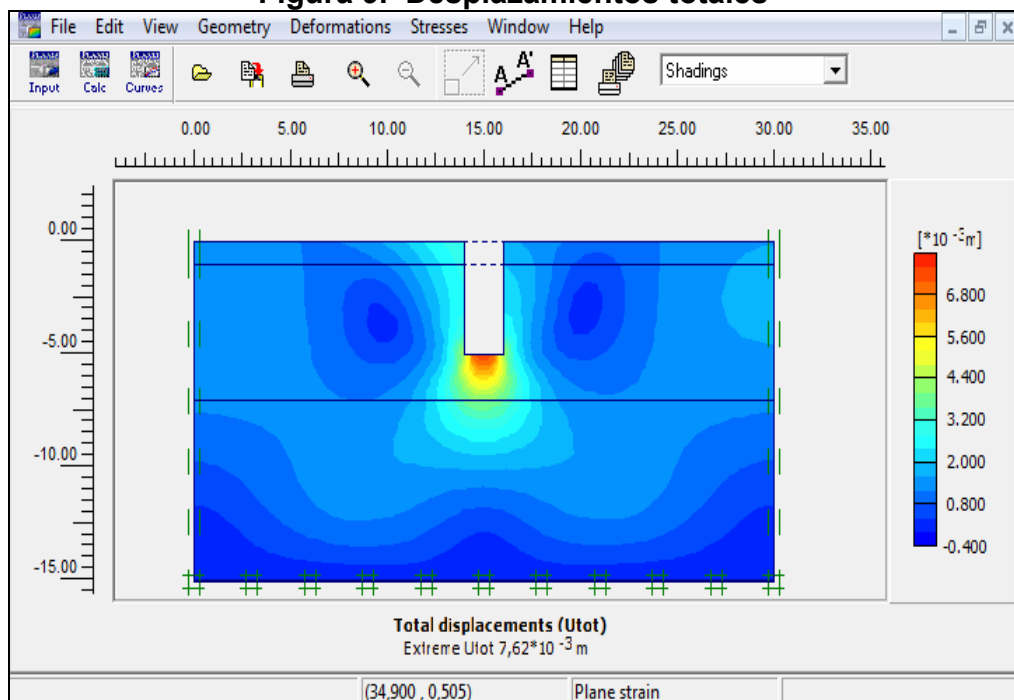


Figura 10. Desplazamientos Horizontales

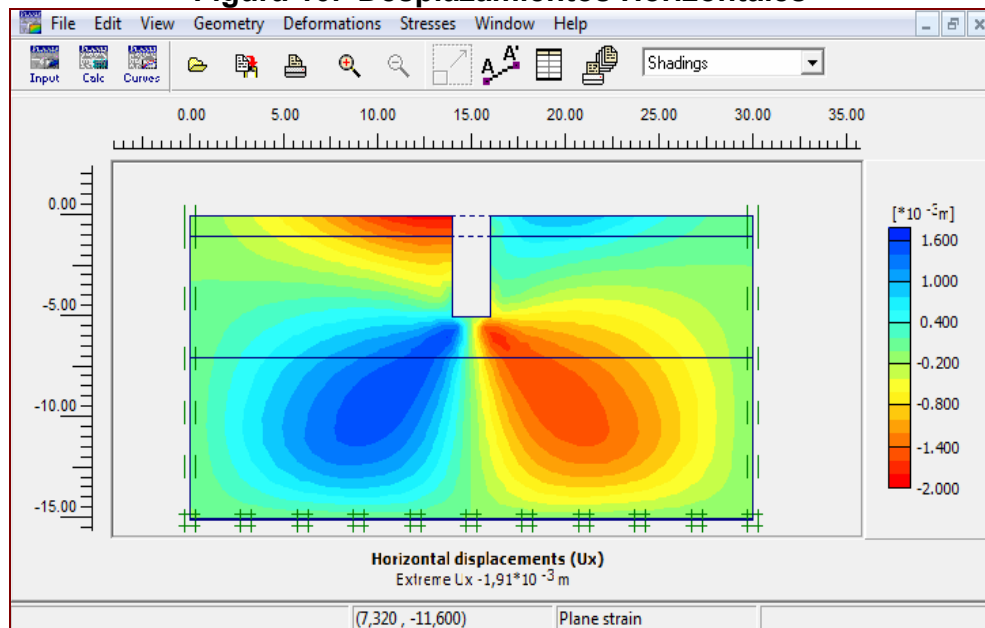
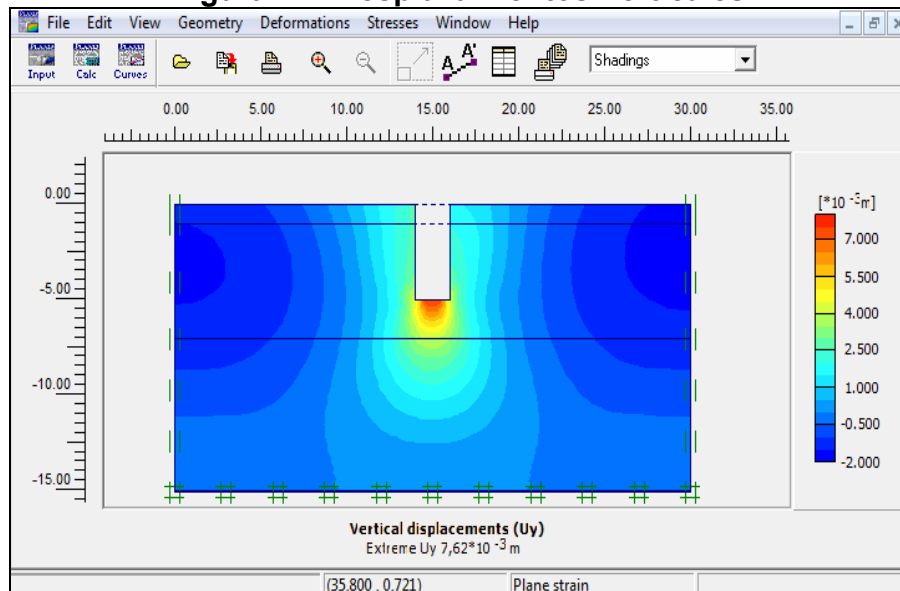


Figura 11. Desplazamientos Verticales



La excavación no colapsa en ninguna fase, esto indica que no necesita de implementar **excavaciones estabilizadas**.

4.2.2. . Tablas de resultados. El programa proporciona una tabla con sus correspondientes resultados, de acuerdo a cada gráfico. Para obtener esta tabla, se hace clic en el icono correspondiente.



Icono de Tabla (Table)

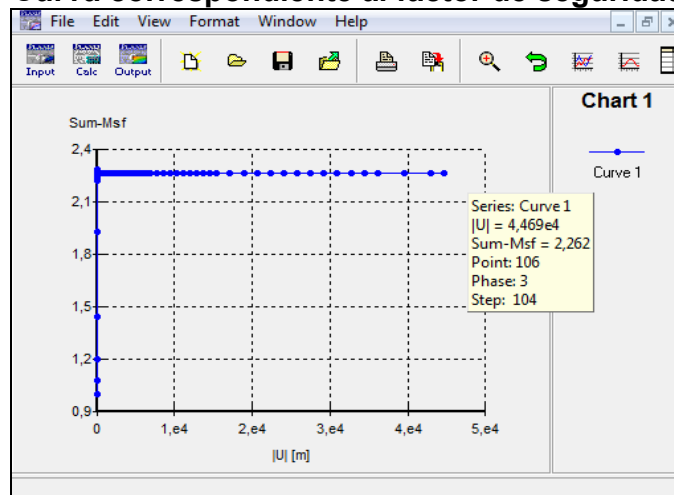
4.2.3. Curvas



Icono de Curvas

El icono de Curvas (Curves) se utiliza, para el trazado de curvas de carga-desplazamiento o de tiempo-desplazamiento, diagramas esfuerzo-deformación, trayectorias de esfuerzo o de deformación de puntos previamente seleccionados de la geometría y curvas de factor de seguridad.

Figura 19. Curva correspondiente al factor de seguridad ejercicio 2



Como resultado, el factor de seguridad está dentro de rango establecido, es decir es mayor de 1.5 por norma.

NOTA

En esta investigación se presentan ejercicios en el anexo 2, los cuales brindan información paso a paso de la modelización de los diferentes casos.

5. CONCLUSIONES

- Basándonos en la estructuración del manual, se pudo establecer que el programa ofrece una buena interacción con el usuario, constituyendo una herramienta computacional muy útil, de fácil manejo y que proporciona resultados valiosos para la ingeniería.
- La confiabilidad del programa depende, de que todos los datos provengan de un estudio de suelos adecuado para cada uno de los tipos de suelos y para cada proyecto en particular.
- El ingreso de los datos debe hacerse de acuerdo al orden definido en el manual, para que de esta forma se garantice eficiencia en el proceso y confiabilidad de los resultados.
- La normativa compilada en el marco teórico, permite determinar el tipo de estabilización que se requiere en un problema particular y debe ser fruto del análisis del usuario, quien posteriormente puede realizar el modelamiento en el programa.

BIBLIOGRAFIA

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Actualización del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, Proyecto NSR – 10, Bogotá, Colombia, Julio 2010. Título H.

BRAJA M, Das. Principios de Ingeniería de Cimentaciones, 4ª. Edición, California State University, Sacramento, International Thomson Editores, 2001. 880 Páginas. ISBN 970-686-035-5.

Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), Normas Geotécnicas, Bucaramanga, Colombia, 2005. 54 Páginas.

Cubillos, Alfonso. Introducción al método de los elementos finitos, Ibagué, Colombia. Universidad de Ibagué. 25 de Enero 2011. [<http://almec.files.wordpress.com/2007/10/resumen.pdf>]

Guevara Anzules. Curso de Orientación de estructuras, Guayaquil, Ecuador, 2008 – 2009. Facultad de ciencias matemáticas y físicas escuela de Ingeniería Civil. 17 de febrero 2011. [<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/excavaciones-profundas-cimentaciones/excavaciones-profundas-cimentaciones.pdf>]

Iguazuri. Sistemas de entibación, Tecnología moderna para la entibación de Zanjas, Madrid. Portal interempresas. 24 de Enero 2011. [http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/154470/entibacion_general.pdf]

ANEXO 1 (Explicación detallada del manual del programa).

(Ver archivo anexo)

ANEXO 2 (Ejercicios propuestos).

(Ver archivo anexo)

ANEXO 3 (Licencia del programas).



END-USER LICENCE AGREEMENT FOR PLAXIS SOFTWARE
No. _____ Date: September 8, 1997

The Undersigned:

1. Plaxis B.V., a company organised under the laws of the Netherlands, having its principal place of business at Kleidijk 25, Rhoon (the Netherlands), hereinafter referred to as "Plaxis";

and

2. Jaime Suarez
Mr. Jaime Suarez
Calle 41, 23-25
Barranquilla
COLOMBIA

herein after referred to as "licensee".

HAVE AGREED AS FOLLOWS:

Article 1 - Grant of title

- 1.1 Plaxis hereby grants to licensee the non-exclusive and non-transferable right to use the Plaxis-software subject to the terms and conditions contained in this Agreement.
- 1.2 Nothing in this Agreement shall be construed or interpreted as implying any transfer and/or assignment of the intellectual property rights, including the copyright in the Plaxis software.

Article 2 - Installation of the software

- 2.1 Licensee shall be solely responsible for the installation and implementation of the Plaxis-software on its computer, including but not limited to loading the Plaxis-software on its computer and implementing the necessary configuration. Plaxis does not warrant that the Plaxis-software operates on the type of computer owned by licensee and licensee shall be solely responsible for obtaining a computer compatible with the Plaxis-software.
- 2.2 Licensee is solely responsible for the use of the Plaxis-software, for selecting the Plaxis-software to achieve the intended results and for the results obtained from the Plaxis-software.

Article 3 - Restrictions of use

- 3.1 The license to use the Plaxis-software granted to licensee under this Agreement is limited to the right to load the Plaxis-software into the memory of and use the Plaxis-software on one single computer only.
- 3.2 Licensee does not have the right to and shall at all times withhold from:
 - a) making any copies or duplications of the Plaxis-software, the Documentation and/or any parts thereof, except that licensee may make one back-up copy of the Plaxis-software on disk for security reasons;
 - b) changing and/or adding to the Plaxis-software;

- c) making the Plaxis-software or the use of the Plaxis-software available to any third party, including but not limited to sub-licensing, renting and leasing the Plaxis-software to third parties;

- d) performing any operations regarding decompiling, disassembling and/or "reverse engineering" of the Plaxis-software without the prior written consent in writing of Plaxis. At the request of Licensee Plaxis shall provide licensee with the information necessary to achieve the interoperability of the Plaxis-software with other software provided that such information has not been previously been readily available to licensee.

Article 4 - Warranty

- 4.1 Plaxis does not warrant that the Plaxis-software will be error-free, but if, within 12 (twelve) months from the date of entry into force of this Agreement, it is demonstrated to Plaxis that the copy of the Plaxis-software sent to licensee contained an error or fault, Plaxis shall exert all reasonable endeavours to correct such error or fault or (at its option) shall replace such copy free of charge, provided that:
 - a) the Plaxis-software has been used properly at all times and in accordance with the documentation provided to licensee with the Plaxis software ("the Documentation"); and
 - b) the alleged error or fault in the Plaxis-software has been notified in writing to Plaxis within the warranty period specified above; and
 - c) no alteration, modification or addition has been made to the Plaxis-software; and
 - d) adequate documentation has been provided to ascertain the cause of the problem.
- 4.2 Each claim of licensee under this warranty shall be sent in writing to Plaxis specifying the nature of the error or fault.

Article 5 - Maintenance

Notwithstanding and without prejudice to the warranty obligations contained in article 4 of this Agreement Plaxis shall see to the maintenance of the Plaxis-software. Maintenance includes and is limited to providing licensee at its own discretion with updates of the Plaxis-software. If Plaxis is willing to provide licensee with updates it shall:

1. notify licensee of its intention to provide updates.
2. inform licensee of the prices for such updates.
3. provide licensee, as soon as an update is released, with the relevant documentation in order to give licensee the opportunity to verify the consequences for licensee's software and/or management.
4. provide licensee with the update in a machine-readable form if licensee decides to use the update.



END-USER LICENCE AGREEMENT FOR PLAXIS SOFTWARE
 No. _____ Date: September 3, 1997

Article 6 - Limitation of liability

- 6.1 Plaxis shall not be liable to licensee or to any other party for or be responsible for any loss or damage, indirect, direct or otherwise, including but not limited to time, money or goodwill costs of substitution, property damage, immaterial damage, damage to the company, damage resulting from stagnation, loss of data, loss of profit or other losses arising from the use, operation, execution or modification of the Plaxis-software, its documentation and/or any output generated by or through the use of the Plaxis-software by licensee, unless licensee can prove that the loss or damage was caused by wilful misconduct or gross negligence on the part of Plaxis.
- 6.2 Licensee shall indemnify and hold Plaxis harmless from and against any claim of third parties for loss or damages caused by or related to the use of the Plaxis-software and its documentation by licensee.
- 6.3 If, notwithstanding the exclusion of liability contained in this article, Plaxis can be held liable by licensee, the liability of Plaxis for loss or damage (including personal injury or death) shall in any event be limited to a maximum of the amount charged to licensee for obtaining the Plaxis-software.

Article 7 - Insurance

Licensee shall insure with a reputable insurance company, against all loss of or damage to property and injury to persons (including death) arising from the use, operation, execution or modification of the Plaxis-software, the Documentation and/or any output generated by or through the use of the Plaxis-software by licensee.

Article 8 - Confidentiality

Licensee acknowledges that the Plaxis-software and the Documentation contain confidential information and shall hold the Plaxis-software and the Documentation in strict confidence and shall withhold from making the Plaxis-software and/or the Documentation and/or any part thereof available to third parties without the express written consent of Plaxis.

Article 9 - Duration and termination of the Agreement

- 9.1 This Agreement shall enter into force on the date of signature by both parties and shall remain in force until terminated in accordance with the provisions hereof.
- 9.2 Licensee may terminate this Agreement by giving 30 (thirty) days written notice to Plaxis by registered post.
- 9.3 Both parties have the right to terminate this Agreement in the following events:

- a) if the other party violated any of the provisions of this Agreement. If a party wishes to terminate this Agreement due to a default by the other party as provided for in this paragraph, the party wishing to terminate shall give the other party written notice of default, sent by registered mail, giving the details of the default which is to be remedied. If the defaulting party fails to remedy the default within 2 (two) weeks of receipt of this notice, the other party shall be entitled to terminate this Agreement with immediate effect. Such termination shall be effected by giving the other party notice by registered letter with receipt to the other party.
 - b) if the other party is declared bankrupt or a receiver is appointed to administer its assets.
- 9.4 Upon termination (for whatever reason) of this Agreement licensee shall:
- a) cease to have the right to use the Plaxis-software or the Documentation and shall immediately withhold from such use with immediate effect;
 - b) immediately return the Plaxis-software, the Documentation and the hardlock key;
 - c) erase or otherwise destroy any computer program or other series of instructions forming part of the Plaxis-software contained in any memory device in the possession of licensee or under its control.

Article 10 - General

- 10.1 This Agreement sets forth the entire agreement and understanding between the parties with respect to the subject matter thereof and supersedes all prior oral and written agreements and understandings between the parties relating thereto.
- 10.2 If any term or provision of this Agreement is found to be illegal or unenforceable, then, notwithstanding any such illegality or unenforceability, this Agreement shall remain in full force and effect and such term or provision shall be deemed to be deleted.
- 10.3 This Agreement is governed by Dutch law. Any dispute in connection with this Agreement can only be referred to the competent Court in Rotterdam, unless Plaxis prefers at its sole discretion, to submit the dispute to any other competent (foreign) Court.

Agreed and signed in duplicate on

Name: R.G.A. de Jong
 Managing director

Name: _____

Plaxis B.V.

Licensee